INTRODUCCIÓN A LA ÓPTICA FÍSICA: INTERFERENCIA, DIFRACCIÓN Y POLARIZACIÓN DE LA LUZ

Asignatura: Ondas y Partículas

Resumen

En ciertas circunstancias la luz se comporta como una onda. La interferencia, la difracción y la polarización de la luz, son fenómenos que no se pueden explicar con la óptica de rayos pero, se describen satisfactoriamente con el formalismo ondulatorio.

En la interferencia por doble rendija, la luz va a una pantalla opaca con dos rendijas angostas muy próximas entre sí. Atendiendo el principio de Huygens, cada rendija actúa como una nueva fuente de luz. Puesto que las rendijas se iluminan con el mismo frente de ondas, las fuentes están en fase y donde se superponen los dos frentes de onda se produce un patrón de interferencia.

El fenómeno de la difracción se basa en la desviación de las ondas, ya sean mecánicas o electromagnéticas, al atravesar una rendija. La difracción también ocurre cuando la luz se propaga atravesando una rejilla, así a causa de la difracción, un haz angosto de ondas de luz provenientes de un láser finalmente divergen en diferentes rayos de luz.

La dirección de propagación de la onda electromagnética y el campo magnético son perpendiculares al campo eléctrico, por lo tanto la luz es una onda transversal. La polarización se refiere a la orientación del campo eléctrico en la onda electromagnética. La luz que proviene de la mayoría de fuentes incandescentes está polarizada de forma aleatoria debido a que la dirección del campo eléctrico cambia rápidamente con el tiempo.

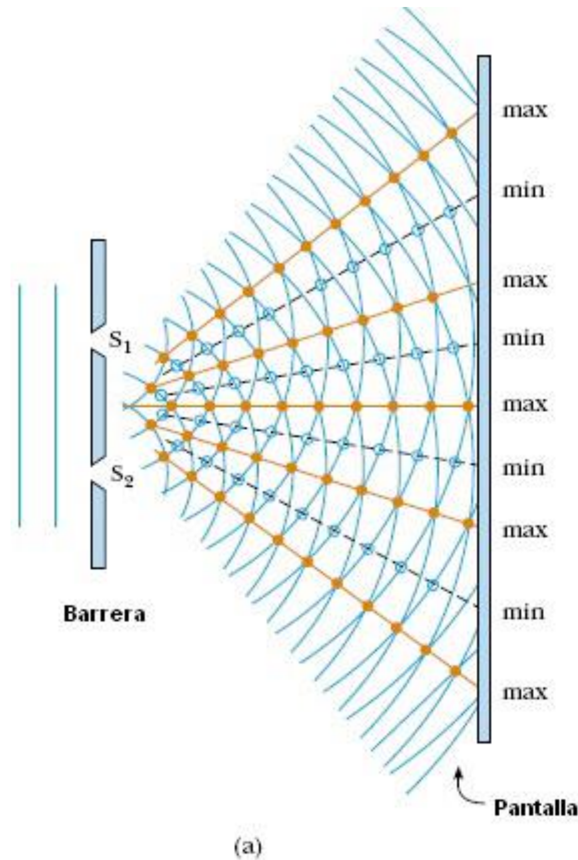
Interferencia de ondas electromagnéticas

Para crear un patrón de interferencia estable, las fuentes deben ser **coherentes**, es decir la diferencia de fase entre ellas debe ser constante; las fuentes deben ser **monocromáticas**, de una sola longitud de onda; se debe aplicar el **principio de superposición**, es decir las amplitudes se pueden sumar algebraicamente.

En la **interferencia constructiva** la amplitud de la onda resultante es mayor que la de cualquiera de las ondas individuales.
En la **interferencia destructiva** la amplitud resultante es menor que la de cualquiera de las ondas individuales.

Si dos fuentes de luz distinta, próximas entre sí, no producen interferencia, esto se debe a que las ondas de luz emitidas, por cada una de las fuentes, son independientes entre sí. Para producir dos fuentes de luz coherentes se utiliza una sola fuente de luz monocromática para iluminar una pantalla que contenga dos pequeñas aberturas. Las dos ranuras, generalmente rectas, sólo se utilizan para dividir el haz original.

Experimento de Young de la doble rendija. El fenómeno de interferencia con ondas de luz emitidas por dos fuentes fue observado por primera vez por Thomas Young en 1801. En la figura 1 (a) S_1 y S_2 actúan como dos fuentes de luz coherentes ya que las ondas que salen de ellas son producidas por el mismo frente de ondas, por lo que tienen una relación de fase constante. El patrón de interferencia se observa en la pantalla, figura 1 (b). Las franjas brillantes corresponden a interferencia constructiva y se forman cuando las ondas luminosas llegan en fase a la pantalla. Las franjas oscuras a interferencia destructiva, cuando las ondas luminosas llegan en desfase.



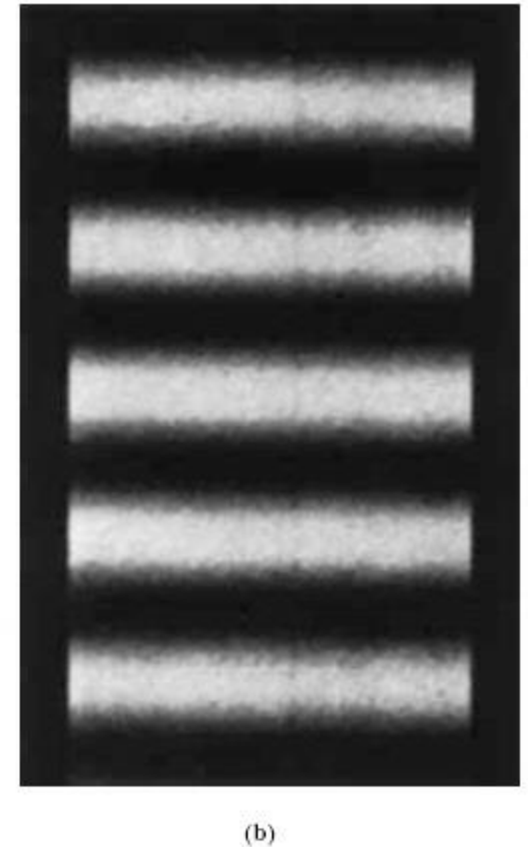
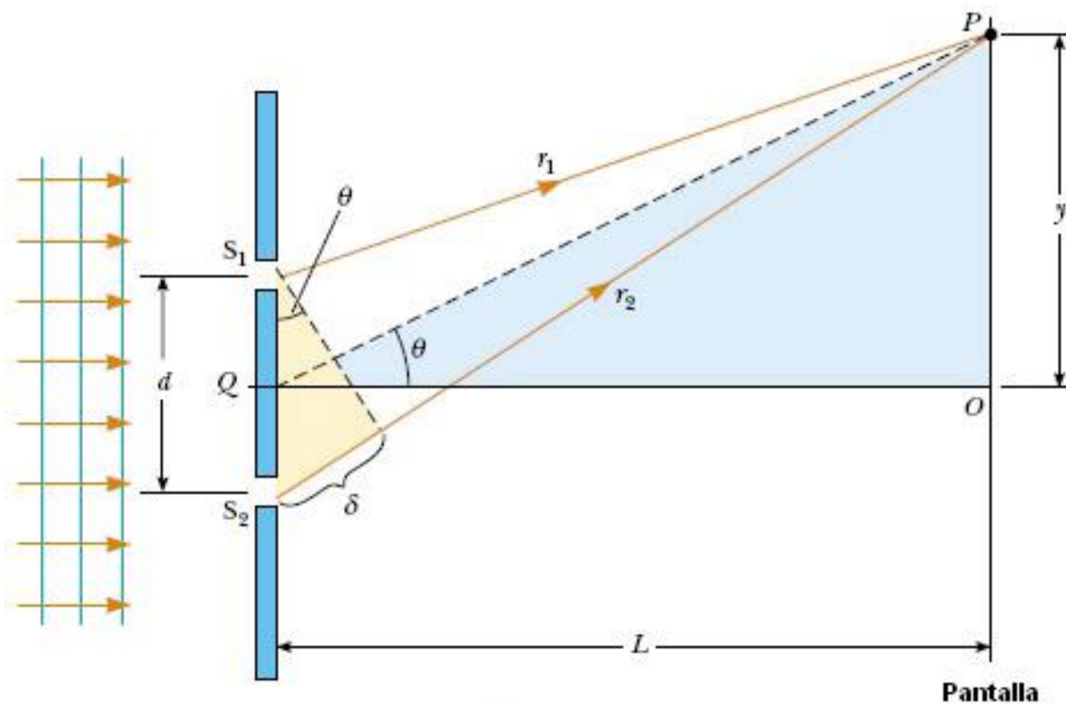


Figura 1: (a) Diagrama esquemático del experimento de Young de la doble rendija.
(b) Configuración del patrón de franjas formado en la pantalla.

En la figura 2 (a) se muestra una geometría que permite dar una descripción cuantitativa del experimento de Young, que se emplea para medir la longitud de onda de la luz. Las ondas que salen de S_1 y S_2 están en fase y tienen la misma frecuencia y amplitud. La distancia recorrida por las ondas que salen de S_2 es mayor en δ a la distancia recorrida por las ondas que salen de S_1.

$$\delta = r_2 - r_1 = d \sin \theta$$



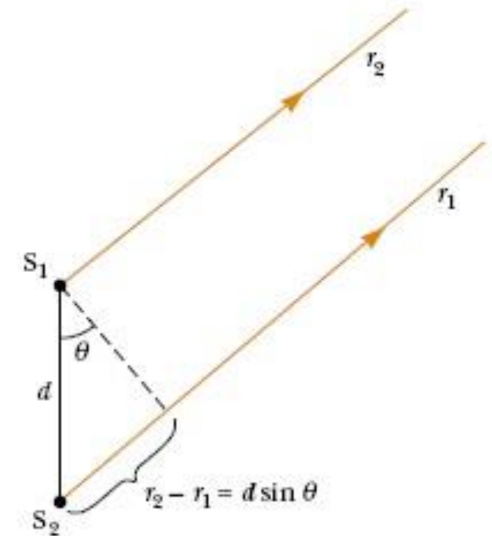


Figura 2: (a) Construcción geométrica para describir el experimento de Young de la doble rendija. (b) Cuando L >> d, r_1 y r_2 son casi paralelos, la diferencia de camino entre los rayos es dsenθ .

Ya que L >> d, r_1 y r_2 son casi paralelos. Así que la magnitud de δ determina si las ondas están en fase cuando inciden en P, figura 2 (a).

Si δ es cero o un múltiplo entero de la longitud de onda, las dos ondas estará en fase en P, resultando una interferencia constructiva. Entonces la condición para obtener franjas brillantes en el patrón de interferencia está dada por:

$$\delta = d\sin\theta = m\lambda \qquad (m = 0, \pm 1, \pm 2, \ldots)$$

Cuando δ es un múltiplo impar de $\lambda/2$, las ondas que llegan a P estarán fuera de fase, produciendo interferencia destructiva. Entonces la condición para obtener franjas oscuras en el patrón de interferencia está dada por:

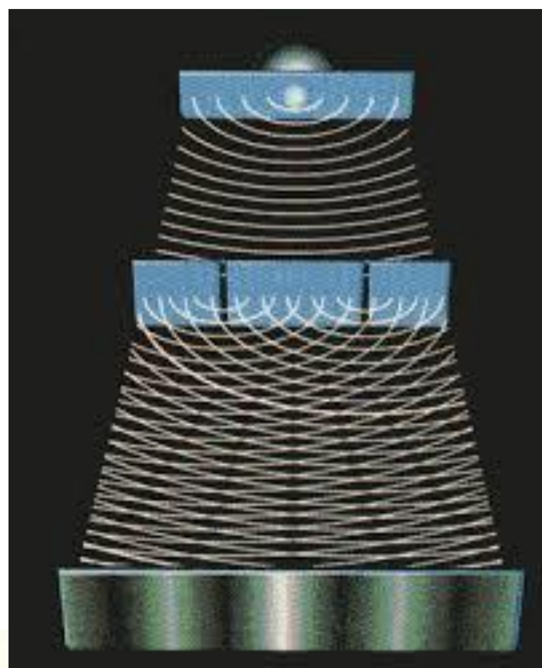
$$\delta = d\sin\theta = \left(m + \frac{1}{2}\right)\lambda \qquad (m = 0, \pm 1, \pm 2, \ldots)$$

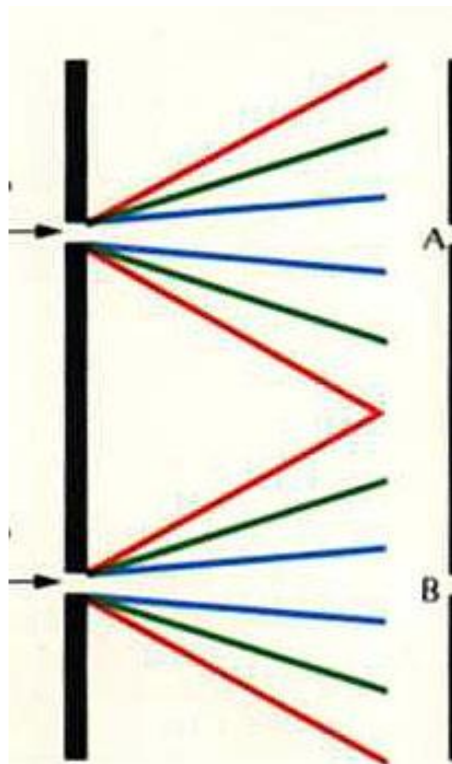
El número m representa el número de orden. La franja brillante central en θ = 0 (m = 0) es el máximo de orden cero. El primer máximo en ambos lados, donde m = $\pm$ 1, se denomina máximo de orden uno, y así sucesivamente.

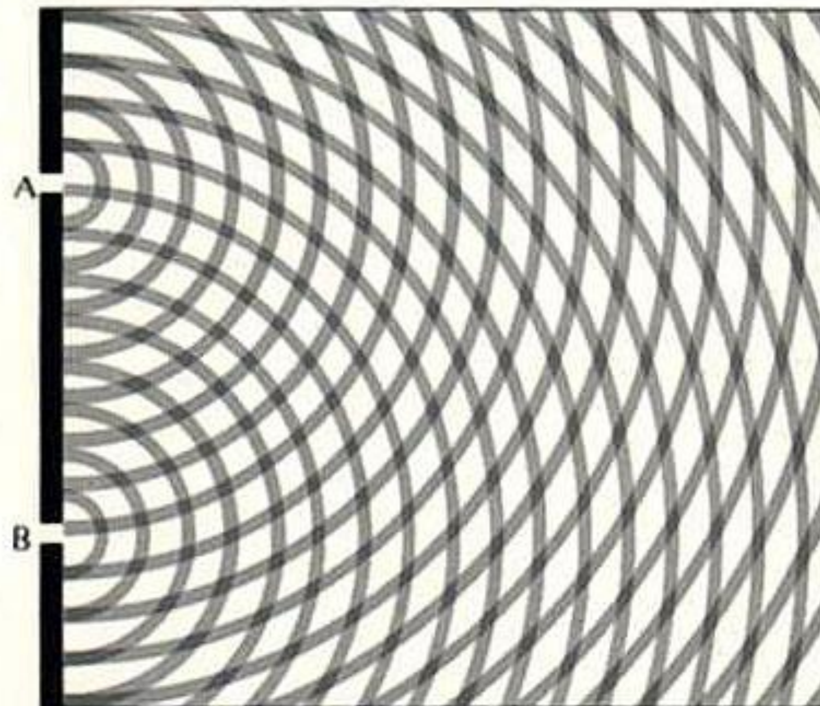
Para obtener expresiones que den la posición de las franjas brillantes y oscuras, medidas desde O a P, figura 2 (a), se asume además de que L >> d, que d >> λ, por lo tanto θ es muy pequeño. Entonces del triángulo OPQ se tiene que $\theta \approx$ sen $\theta \approx$ tan $\approx$ = y/L, así de las ecuaciones anteriores se obtiene respectivamente

$$y_{brillante} = m\frac{\lambda L}{d} \qquad (m = 0, \pm 1, \pm 2, \ldots)$$

$$y_{oscuro} = \left(m + \frac{1}{2}\right)\frac{\lambda L}{d} \qquad (m = 0, \pm 1, \pm 2, \ldots)$$

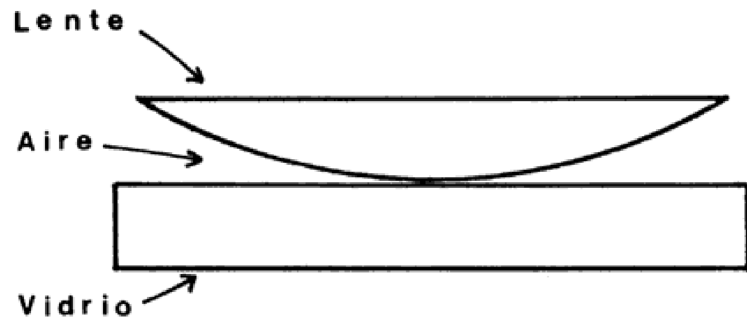


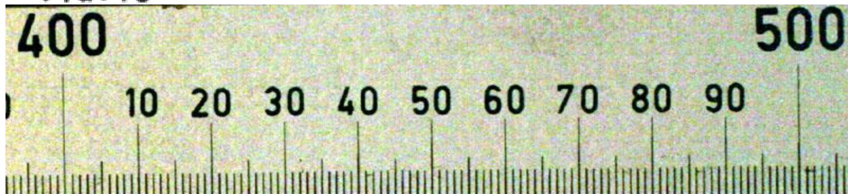


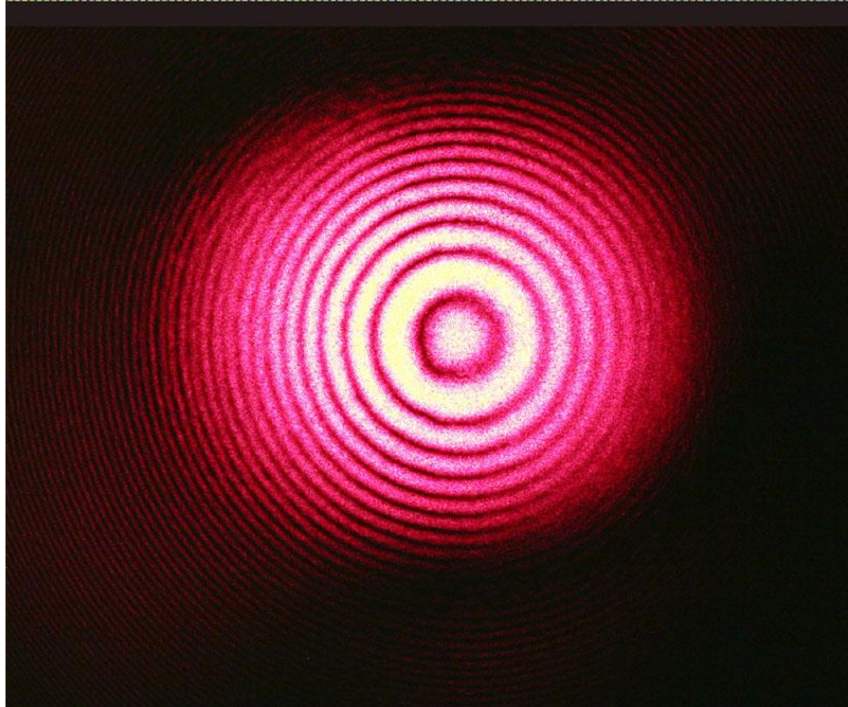

A
B



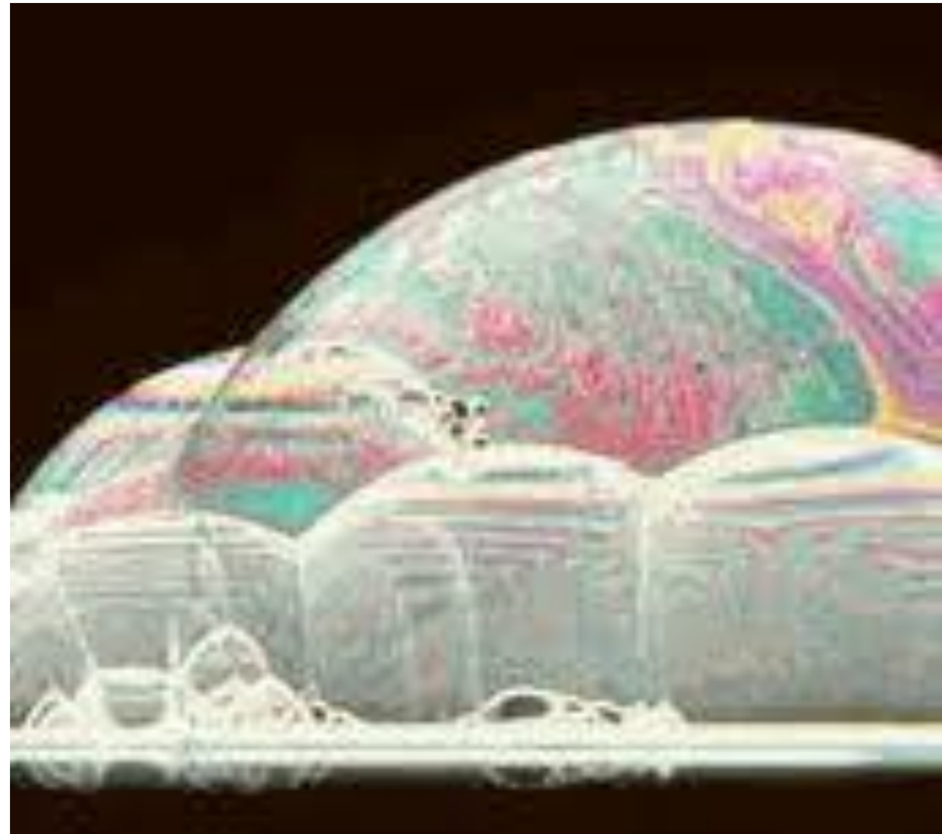
Anillos de Newton

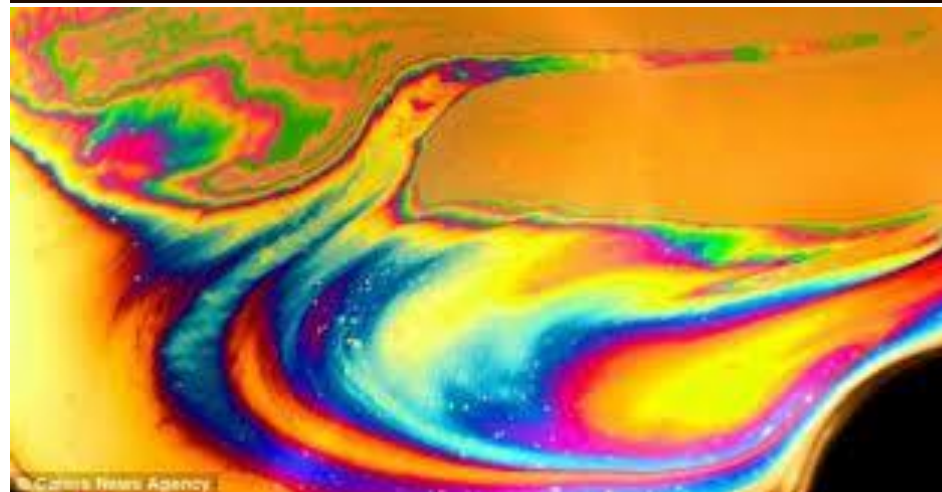




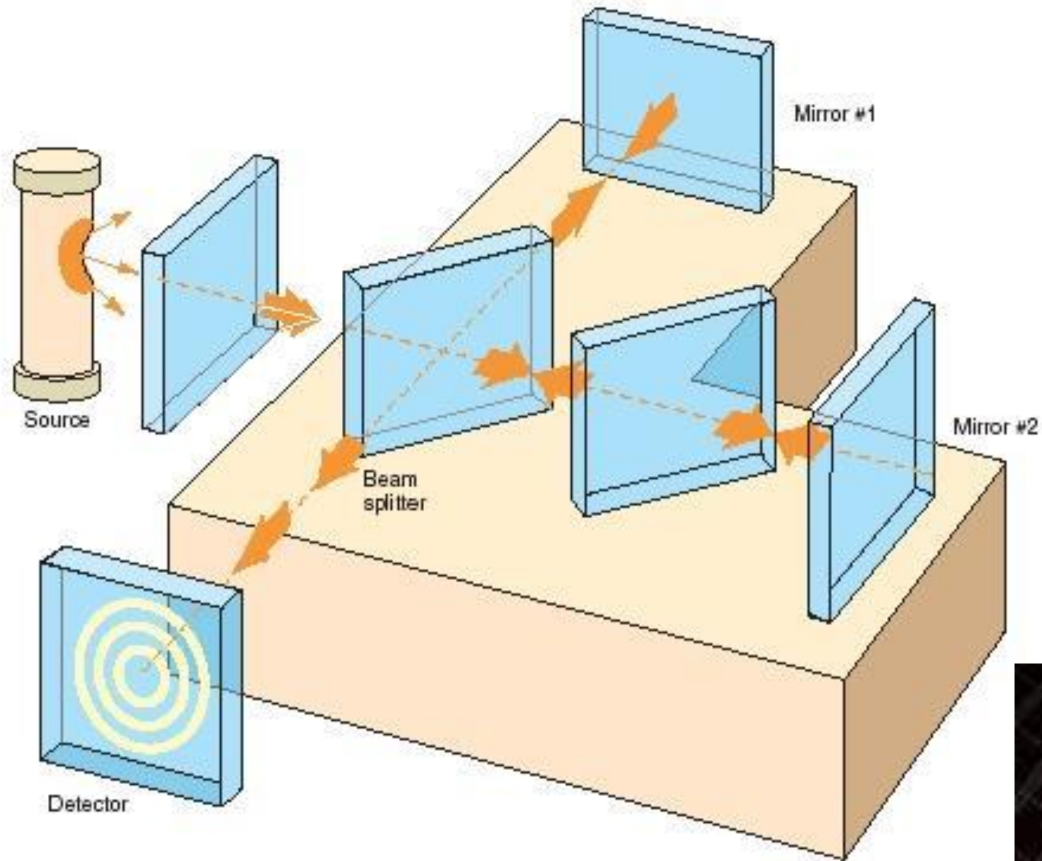


Interferencia en películas delgadas





Interferómetro de Michelson



Hologramas



Difracción de la luz

La luz se puede desviar de su trayectoria rectilínea normal, tanto por reflexión como por refracción. A toda desviación de la luz por otro mecanismo que no sea reflexión o refracción se le llama difracción. Cuando la luz pasa por una abertura grande en comparación con la longitud de onda de la luz, forma una sombra casi nítida. Pero si se hace pasar luz a través de una rendija delgada, se ve que la luz se difracta. Desaparece entonces la frontera nítida entre las áreas iluminadas y la sombra, y la luz se propaga como en abanico, produciendo un área iluminada que se debilita hasta llegar a la oscuridad, sin bordes bien definidos, como en la figura 3.

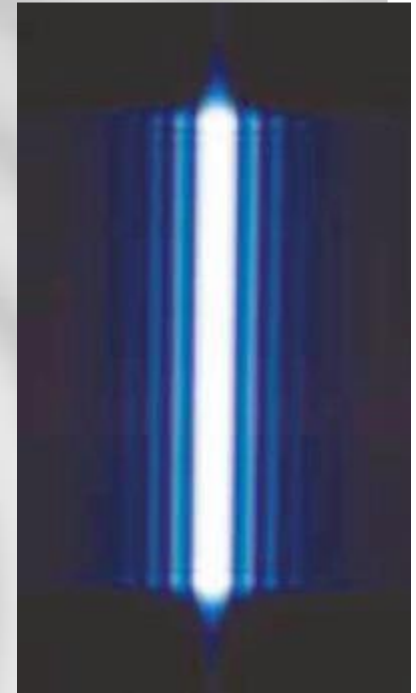


Figura 3: Patrón de difracción que aparece sobre una pantalla cuando la luz pasa a través de una pequeña rendija vertical. El patrón consiste de una línea brillante central y líneas menos intensas a cada lado. Las bandas de difracción se ven en las sombras producidas con luz monocromática.

En la figura 4 (a) se muestra una gráfica de la distribución de la intensidad de la luz difractada por una sola rendija delgada. Debido a la difracción, hay un aumento gradual de la intensidad luminosa, en vez de un cambio abrupto de sombra a luz. Una fotocelda que recorriera la pantalla sentiría un cambio gradual desde falta de luz hasta luz máxima, figura 4 (b). Hay unas franjas débiles de intensidad a ambos lados de la franja principal, prueba de que la interferencia es más pronunciada con doble rendija o con varias rendijas.

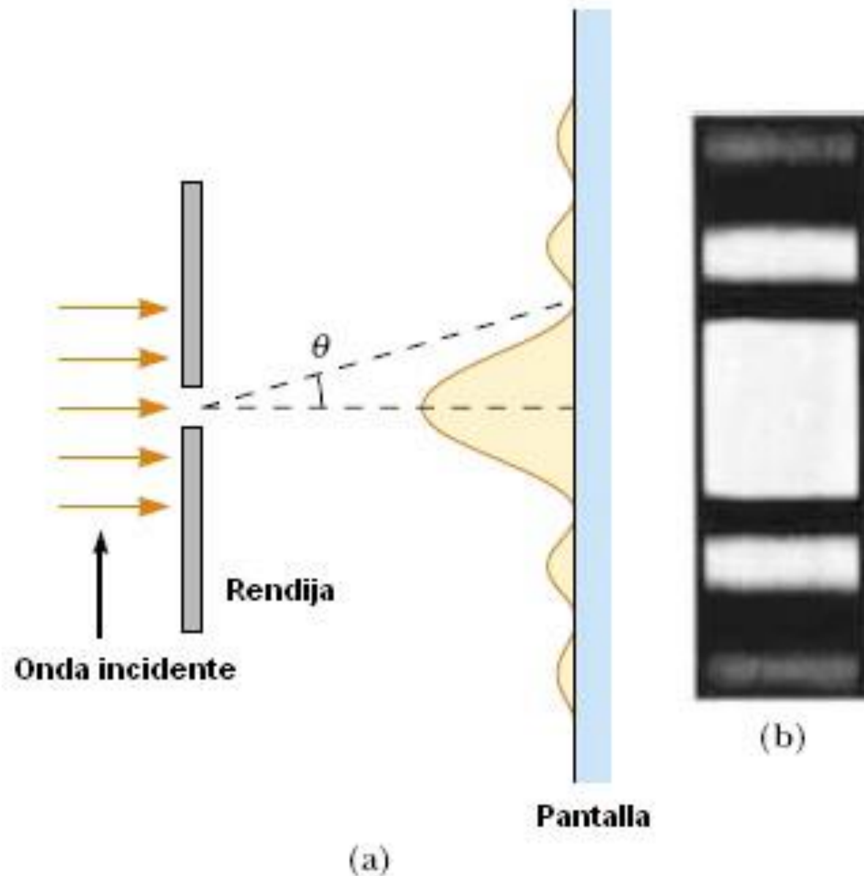


Figura 4: (a) Patrón de difracción de una sola rendija: consta de una región central brillante flaqueada por muchos máximos secundarios. (b) Fotografía de un patrón de difracción de una rendija.

Rejilla de difracción

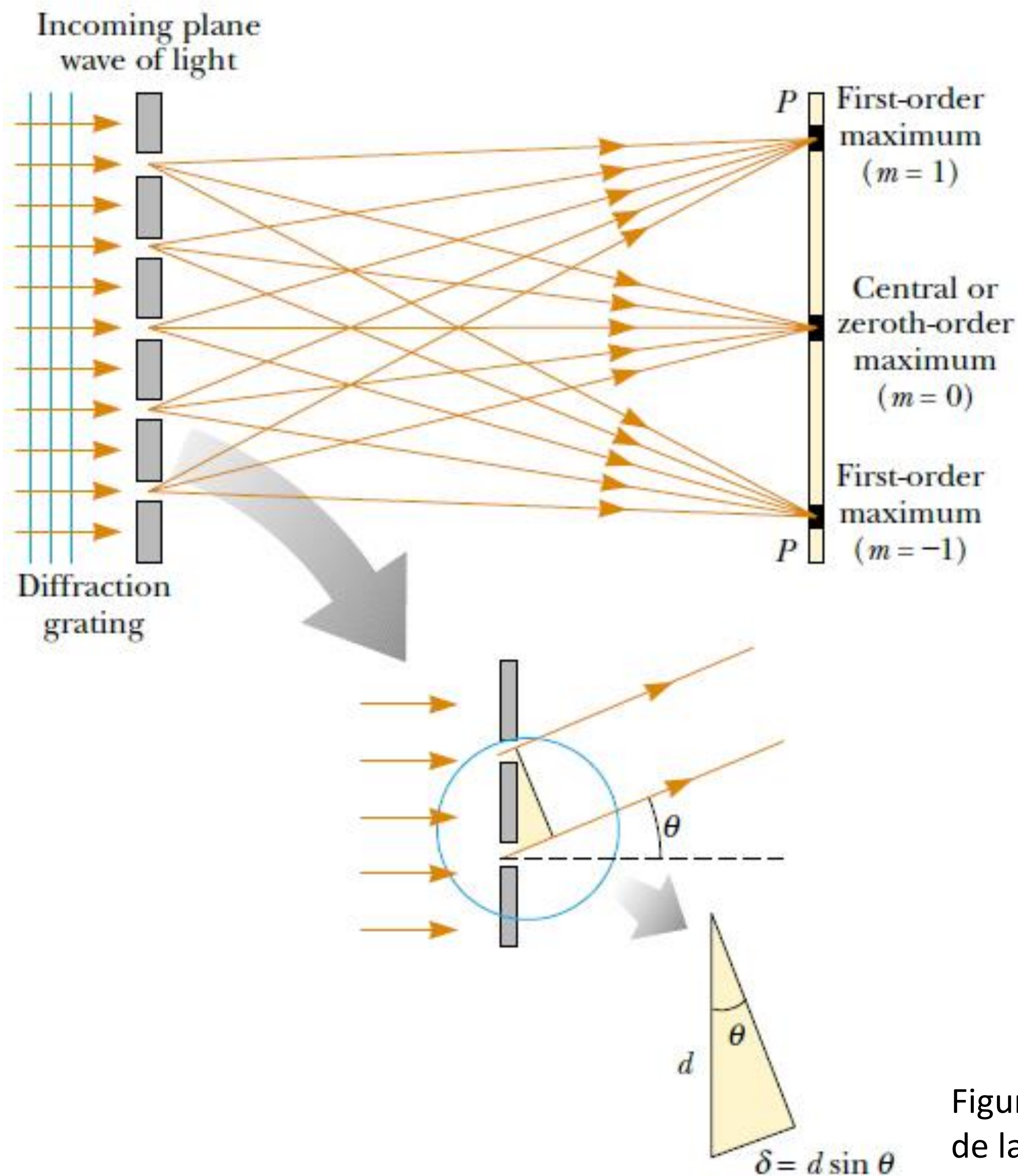


Figura 5: Ilustración geométrica de la rejilla de difracción.

En la rejilla de difracción los espacios entre las líneas son transparentes a la radiación electromagnética por lo que actúan como ranuras separadas. Si una rejilla tiene 5000 lineas/cm el espaciamiento entre las rendijas, d, será d = (1/5000) cm = 2 x 10^-4 cm.

La intensidad del patrón observado sobre una pantalla es el resultado de los efectos combinados de interferencia y difracción, ya que cada ranura produce difracción y los haces difractados interfieren entre sí para producir el patrón final. Así, se puede considerar a la rendija como una fuente de ondas, electromagnéticas, donde todas las ondas en el momento de salir de la rendija se encuentran en fase.

Para una dirección arbitraria , como se ve en la figura 5, medida desde la horizontal, las ondas deben recorrer diferentes longitudes de camino óptico antes de alcanzar cualquier punto P sobre la pantalla. La diferencia de camino entre las dos ranuras consecutivas es igual a dsenθ. Si la diferencia de camino es igual a una longitud de onda, λ, o a un multiplo entero de λ, las ondas procedentes de todas las ranuras estarán en fase en P observándose una línea brillante. Así, la condición de máximo en el patrón de interferencia para un ángulo θ es

$$d \sin \theta = m\lambda \qquad (m = 0, 1, 2, 3, \ldots)$$

en donde m representa el número de orden del patrón de difracción. De la ecuación anterior se puede determinar λ conociendo θ y d.

Polarización de la luz

La polarización de la luz evidencia la naturaleza transversal de las ondas electromagnéticas. Según la teoría ondulatoria, cada fuente produce una onda electromagnética con un campo eléctrico orientado en una dirección específica, que corresponde a la dirección de la oscilación de la fuente. Entonces la dirección de polarización de una onda electromagnética corresponde a la dirección de oscilación del campo eléctrico de la onda. En la luz no polarizada, figura 6 (a), como todas las direcciones de oscilación son posibles; la onda electromagnética resultante es una superposición de las ondas producidas por las fuentes individualmente. Una onda electromagnética está linealmente polarizada si el campo eléctrico oscila en la misma dirección para todo tiempo en un punto específico, figura 6 (b).

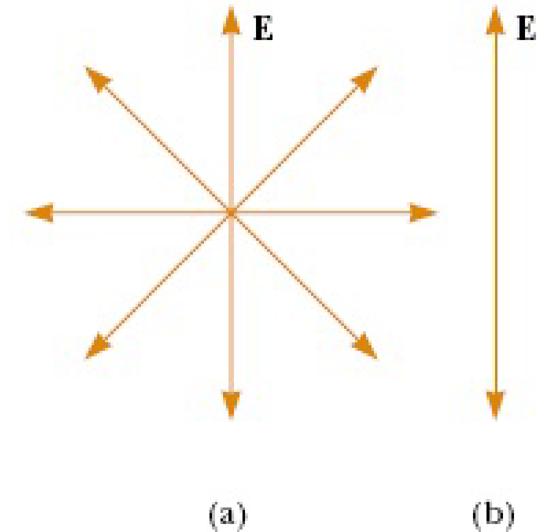
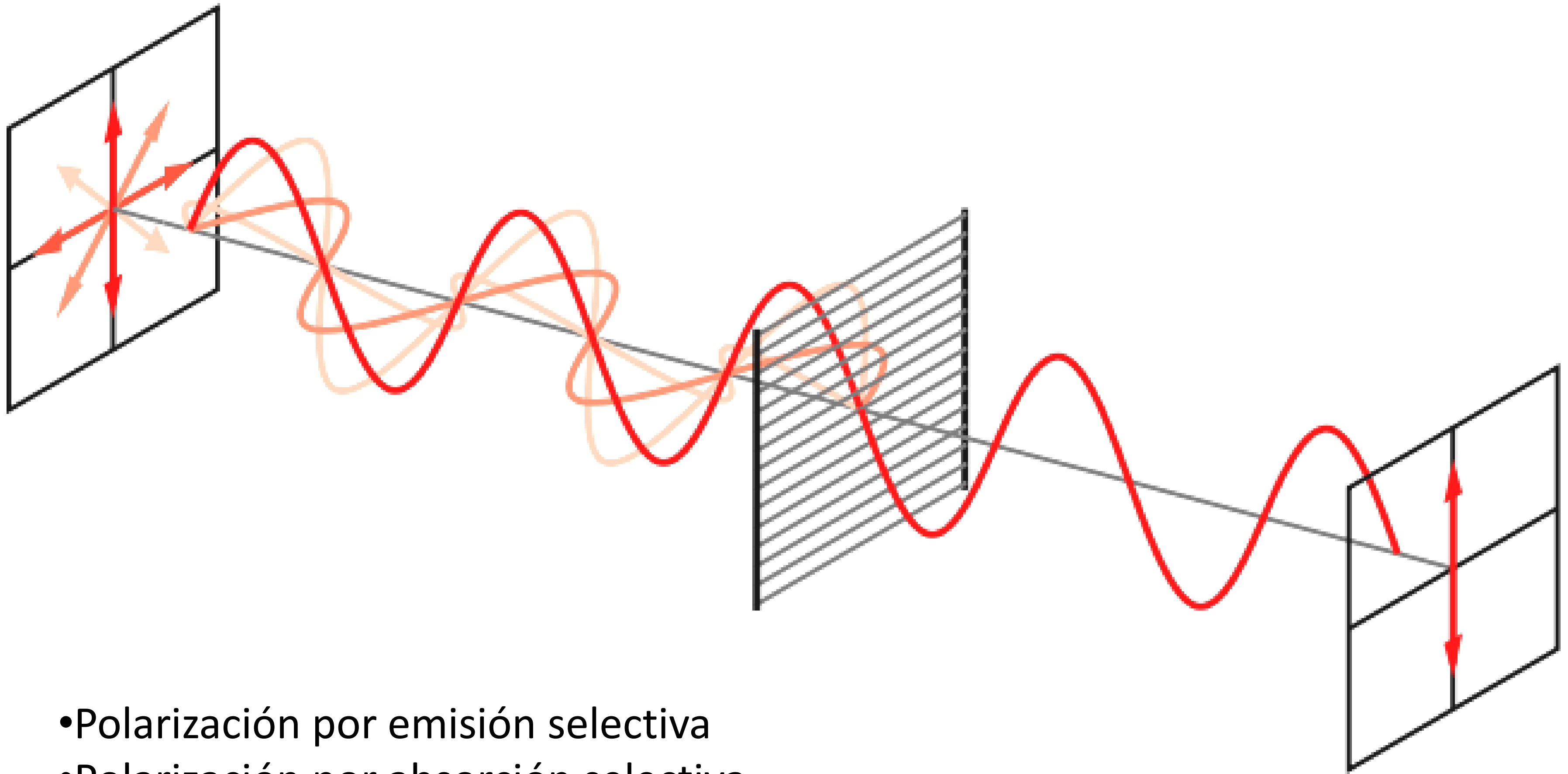
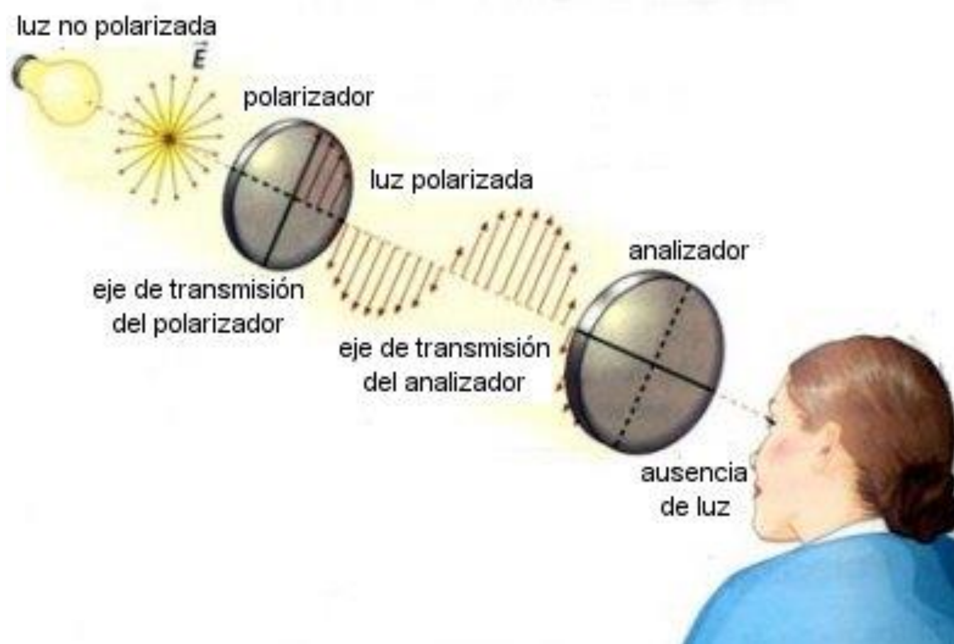


Figura 6: (a) Campo eléctrico de un haz de luz no polarizado visto a lo largo de la dirección de propagación (perpendicular al plano de la pantalla). El campo eléctrico puede oscilar en cualquier dirección con la misma probabilidad. (b) Campo eléctrico, de un haz de luz linealmente polarizado, oscilando en dirección vertical.

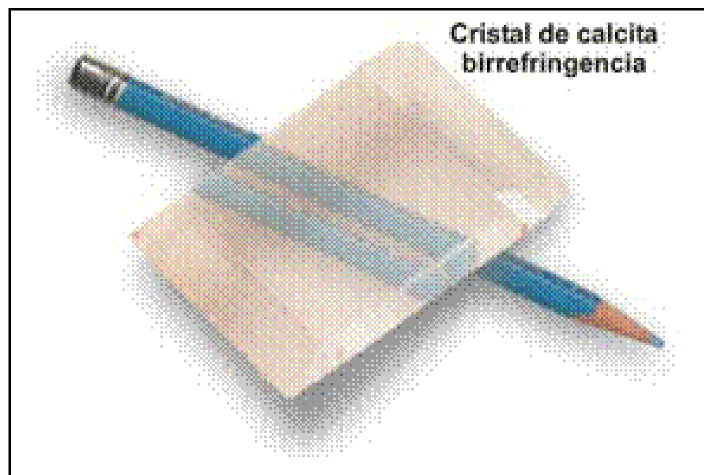


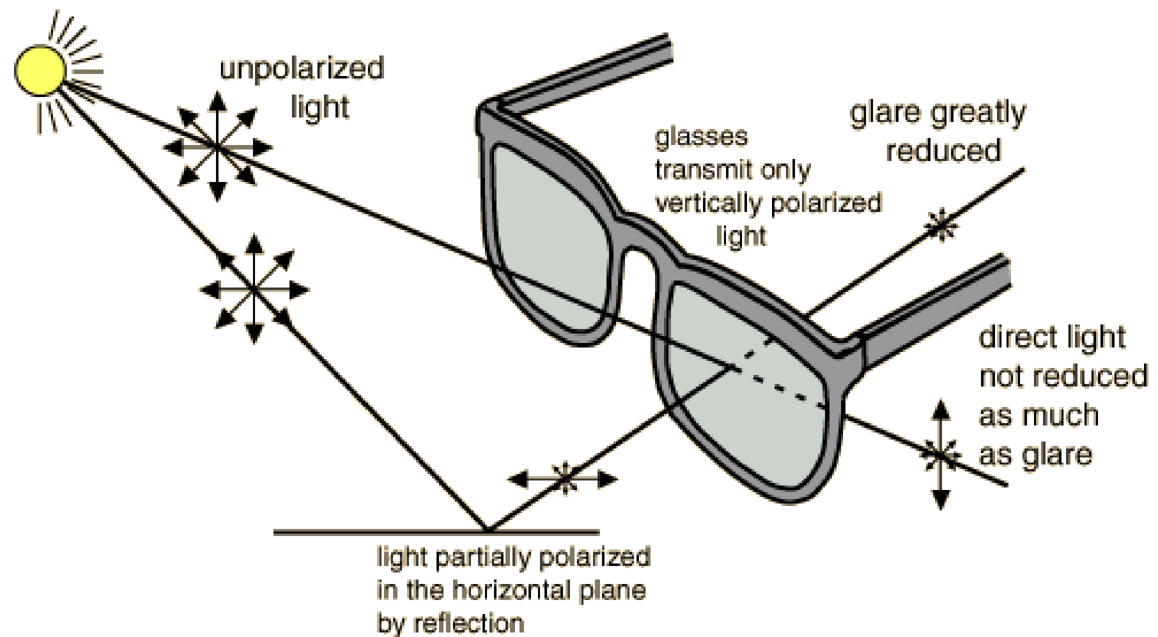
- Polarización por emisión selectiva
- Polarización por absorción selectiva
- Polaroide
- Polarizador perfecto: Ley de Malus
- Polarización por reflexión - Ángulo de Brewster


luz no polarizada
polarizador
luz polarizada
analizador
eje de transmisión
del polarizador
eje de transmisión
del analizador
ausencia
de luz






Cristal de calcita
birrefringencia


unpolarized
light
glasses
transmit only
vertically polarized
light
glare greatly
reduced
direct light
not reduced
as much
as glare
light partially polarized
in the horizontal plane
by reflection